

Estações Comuns de Recalque de Água Limpa

Pontos Merecedores da Atenção do Projetista

(Notas do Eng. MARCELLO FRANCISCO DE LIMA)
Eng. Chefe-int. da DPO-2

I — SEGURANÇA E ECONOMIA

Tratando-se de serviço público, e de água para beber, a segurança prevalece sobre a economia, embora mereça esta grande consideração, evitando desperdício de dinheiro público, sem prejuízo daquela; abrangendo este conceito, tanto os materiais quanto as condições de funcionamento do sistema em seu conjunto, desde a tomada d'água que abastece os grupos de recalque até a extremidade da tubulação de recalque onde seja ela entregue à rede distribuidora, por meio de reservatório ou diretamente.

II — PERFIL DA LINHA DE ABASTECIMENTO-LOCAL DA ESTAÇÃO DE RECALQUE

Condições locais e considerações de ordem econômica tais que desapropriação, poderão aconselhar a colocação da estação de recalque no local da origem do abastecimento, ou em ponto intermediário entre essa origem e a extremidade da linha de recalque; e consequente emprêgo de sucção afogada, por aspiração ou "booster".

Ponto alto na linha de recalque: — A ocorrência de um ponto culminante nessa linha poderá em determinadas condições resultar em *conduto livre embora fechado*, dêsse ponto até o ponto de entrega ao consumo, ou constituir uma prolongação do conduto forçado que parte da saída dos grupos de recalque; e consequente emprêgo de chaminé aberta; chaminé com amortecedor de choque; chaminé com redutor de pressão na entrada; ventosa; ou caixa de quebra de carga nesse ponto, segundo seja o caso.

III — SUCÇÃO DAS BOMBAS

A interrupção do suprimento de água à sucção de bombas centrifugas em movimento poderá ocasionar sérios danos às mesmas devido ao atrito nos anéis de vedação, por falta de água que age como lubrificante. Antes que a bomba funcione o rodete deve estar cheio de água, e todo o ar eliminado, tanto na sucção quanto na bomba.

Aspiração: — Exige precauções especiais para evitar a entrada de ar, e cavitação, (ver adiante sob o título "BOMBA AFOGADA"). A velocidade específica da bomba deverá conformar-se com as especificações do "Hidraulic Institute" dos E. Unidos, para o tipo de bomba, altura de aspiração, e altura dinâmica total de elevação a empregar. No caso de longa tubulação de aspiração, calcular a "NPSH" (Net Positive suction Head ou Altura líquida de Aspiração).

Poço de Sucção: — Sua capacidade mínima será de 2 minutos de descarga das bombas (exceto a de reserva), contada essa capacidade a partir do nível d'água mínimo exigido na ponta do tubo de sucção.

A submersão mínima será de 1.0 m e a ponta do tubo se elevará a 0.5 m acima do fundo do poço. A distância entre os diversos tubos de sucção será de 1.0 m no mínimo. O tubo que abastece o poço descenderá até o nível da ponta dos tubos de sucção e ficará separado deles por distância mínima de 1.0 m e por anteparo para evitar agitação da água.

O poço será coberto quando se trate de abastecimento de água potável e disporá de ladrão, com a capacidade de descarga igual à vasão de entrada no poço e *dispositivo automático para parada da bomba*.

Canalização: — A velocidade da água no tubo de sucção não excederá de 1.0 m/s. Serão tão curtas e diretas quanto possível as ligações entre a entrada na bomba e a ponta da tubulação de sucção, e terão diâmetro de preferência superior aos da entrada.

Não empregar curva em plano horizontal diretamente ligada à entrada da bomba; mas, intercalar entre a curva e a entrada, um tubo reto de 4 a 6 diâmetros de comprimento.

Não empregar registro na sucção; se for indispensável, a haste será colocada em posição horizontal, ou voltada para baixo.

Empregar redução de comprimento $2 \times$ diâmetro diretamente ligada à entrada da bomba podendo intercalar um toco de comprimento $2 \times$ diâmetro entre a entrada da bomba e a redução, para ligar o manômetro.

Empregar redução excêntrica de comprimento $2 \times$ o diâmetro, (colocada com o lado da

excentricidade para baixo), sempre que se trate de bomba de entrada lateral (isto é, paralela ao eixo da bomba ao atingir o rodete.).

Empregar curvas de raio grande.

Empregar linha de sucção independente para cada bomba — pois uma só linha com derivações para duas ou mais bombas, no caso de acidente na linha de sucção comum, paralizará tôdas as bombas. Cada uma dessas linhas disporá de válvula do pé e crivo cônico. A velocidade de água através da válvula será inferior a 0.6 m/s., e o crivo terá área livre maior do que $4 \times$ a área do tubo de sucção.

Nível d'água no poço de sucção: — Válvula comandada pelo nível d'água regulará a vazão de entrada de forma a manter a reserva de 2 minutos, de descarga das bombas e impedir perdas pelo ladrão.

Escorvamento: — Nunca tentar escorvar bomba em ação. Escorva pode ser conseguida por meio de:

1 — Admissão de água no tubo de sucção até exclusão do ar do tubo de sucção e da bomba até que esta e o tubo se encham de água.

2 — Por meio de bomba de vácuo.

3 — Por meio de dispositivo especial para circular a água na bomba (injetor), através do tubo de sucção; por meio de válvula escorvadora ligada a uma válvula de ar e dispositivo formando um conjunto de funcionamento automático.

Os dois últimos são bem mais complicados. O primeiro método deverá ser preferido:

a) Por meio de linha auxiliar de pequeno diâmetro (1/8 de polegada) ligando o tubo de sucção à linha de descarga da bomba, além da válvula de retenção; podendo-se ainda, se for o caso, adicionar uma válvula de retenção no tubo de sucção, para evitar perda de escorvamento no caso de estar a válvula de pé dando vasamento devido a sujeira.

b) Por linha auxiliar semelhante partindo do tubo que abastece o poço de ducção, se for o caso.

c) Por linha partindo do abastecimento de água existente, se for o caso, e fazendo com que o escoamento seja lento para evitar a compressão do ar no tubo de sucção.

d) Por linha partindo de tanque especial de reserva. Em qualquer caso é indispensável que além de sair água pelos registros de prova situados no alto da carcassa da bomba, tenha saído também todo o ar do tubo de sucção e da bomba, antes de por em movimento à máquina.

Bomba Afogada: — Oferece a vantagem muito considerável de manter a bomba sempre escorvada e de reduzir a possibilidade de entrada de ar, pois o tubo de admissão à bomba estará sempre cheio de água. Contudo permanece o perigo de cavitação, desde que a pressão disponível líquida de aspiração na entrada da bomba, determinada pela sua situação, seja inferior à especificada pelo fabricante. A velocidade específica da bomba e a al-

tura manométrica de recalque, aplicadas aos diagramas do "Hydraulic Institute, para o tipo de bomba a empregar, darão a pressão NPSH mínima, exigida pela bomba. Esta altura deverá ser comparada àquela determinada pela situação da bomba; devendo ser a altura determinada pela situação da bomba, superior à exigida pela bomba.

Pela situação da bomba:

Hasp = A Altura total líquida de aspiração na entrada do bocal da bomba referida à L.C. da bomba.⁽¹⁾

Habs = A Altura correspondente a pressão absoluta na superfície do líquido.

H_z = A distância entre a superfície do líquido e a L.C. do eixo da bomba.

H_{vp} = A Altura correspondente à tensão do vapor do líquido à temperatura existente.

H_f = A Altura correspondente à perda de carga por atrito e turbulência entre superfície do líquido e o bocal de entrada na bomba.

$$\text{Hasp} = \text{Habs} \pm \text{Hz} - \text{Hvp} - \text{Hf}$$

Onde H_z pode ser positivo ou negativo, segundo se ache a superfície do líquido acima ou abaixo da L.C. do eixo da bomba.

Não foi incluída a altura correspondente à velocidade da água na entrada da bomba ($V^2/2g$), porque se trata de encontrar a altura total líquida; isto é piezométrica mais a cinética; e não somente a piezométrica.

N.P.S.H. — (Altura Positiva Líquida de Sucção) — Exigida pela bomba.

Partindo da pressão lida em um manômetro colocado junto da entrada da bomba, em kg/cm² e sendo:

Ps = altura da c.a. correspondente à pressão absoluta resultante da leitura do manômetro no tubo de entrada na bomba, considerando a altitude do local; temperatura e densidade do líquido.

z = a) distância entre a L.C. da bomba e o centro do manômetro, no caso de ser positiva a leitura do manômetro. O sinal de H_z será positivo se o centro do manômetro se achar acima da L.C. da bomba, e negativo em caso contrário.

b) distância entre a L.C. da bomba e a L.C. do tubo de entrada na bomba, no caso de ser negativa a leitura do manômetro. O sinal de z será positivo se a L.C. do tubo de entrada estiver acima do da L.C. da bomba e negativo em caso contrário.

H_{vp} = altura da c.a. correspondente à tensão do vapor do líquido considerando a temperatura e a densidade deste. É uma pressão absoluta.

$\frac{V^2}{2g}$ = altura da c.a. correspondente à velocidade da água no tubo de entrada na bomba.

$$\text{NPSH} = \text{Ps} \pm z - \text{Hvp} + \frac{V^2}{2g}$$

(1) L. C. = linha central.

Observação: — O que foi aqui exposto a respeito de cavitação aplica-se especialmente ao caso de emprêgo de poço de sucção, e de pequenas alturas de c.a. no caso de bomba afogada.

Tanque para bomba afogada — Deverá ter capacidade mínima para dois minutos de descarga da bomba; tubo de alimentação das bombas independentes, e demais exigências de um poço de sucção, com dispositivo automático para parada da bomba ao ser esgotada a água no tanque.

Booster — No caso de ser a bomba abastecida por conduto forçado ligado ao bocal de entrada é necessário prevêr a possibilidade de interrupção de abastecimento devido a ruptura do conduto ou por outro motivo e consequente entrada de ar no rodete ou mesmo na caixa da bomba, a qual poderá ser danificada trabalhando nessas condições, sendo necessário parar o motor. Para êsse fim, um meio é o emprêgo de um aparelho "estator-pressor" e "relay" para interrupção automática da corrente elétrica, podendo ainda ser de utilidade, a colocação de uma válvula de retenção no citado conduto forçado, em ponto próximo da bomba, para reter água que possa refluir através dela. Outro meio, como uma pequena caixa ligada pelo fundo ao tubo de sucção, provida de registro automático de entrada d'água, escoaria seu conteúdo quando a pressão na sucção baixasse, reduzindo o nível d'água à altura fixada para funcionamento de relay de interrupção de corrente elétrica.

IV — CHAMINÉ — CAIXA DE QUEBRA DE CARGA-VENTOSA.

Chaminé Aberta — No caso do "ponto alto" no perfil, tratando-se de conduto livre à jusante dêsse ponto, é indicado o emprêgo de chaminé aberta; pois não haverá perda de água quando se der partida ou parada das bombas, desde que o tubo a jusante de chaminé continue como conduto livre, e portanto aberta a válvula de extremidade; na entrada no reservatório, se for o caso.

Fechada essa válvula, o nível d'água se elevará na chaminé e se for insuficiente sua altura, haverá perda d'água, a menos que seja empregado dispositivo automático de parada das bombas e a chaminé tenha capacidade suficiente para receber a descarga durante o período exigido pela bomba para parar.

No caso de ser considerável a distância entre a bomba e o "ponto alto", a altura da chaminé não poderá ser prevista com a aproximação requerida, à vista do êrro a esperar no cálculo da perda de carga. Sendo forçado o conduto à jusante da chaminé esta resultará de altura excessiva para cobrir o êrro no cálculo da perda de carga; e mesmo livre êsse trecho do conduto, se houver fechamento de válvula nesse trecho, passará a conduto forçado.

O emprêgo de chaminé aberta fica sujeito às seguintes condições, conforme o caso:

a) Conduto sempre livre à jusante da chaminé — Não há restrições.

- b) Conduto forçado à jusante da chaminé — Distância curta entre as bombas e o "ponto alto", aliada a pequena diferença entre a pressão máxima prevista para a bomba e a calculada nesse ponto.
- c) Conduto livre à jusante da chaminé, mas sujeito a fechamento de válvula nesse trecho: — Dispositivo automático ou comunicação ao operador das bombas, antes de ser fechada a válvula.

Chaminé com Aliviador de Pressão.

No caso de "ponto alto" no perfil, tratando-se de conduto forçado à jusante dêsse ponto, a discontinuidade da coluna d'água, ou a retomada de continuidade ocasionada pela parada das bombas, ou pela sua partida, ocasiona golpe de ariete. Se a pressão piezométrica fôr baixa nesse ponto, mas sendo a altura máxima de elevação da bomba maior do que a que passa ser equilibrada por chaminé aberta de altura razoável, poderá ser empregada uma chaminé de altura suficiente para cobrir essa pressão piezométrica com alguma folga; *chaminé essa provida de aliviador de pressão situado no seu topo:*

Com êsse dispositivo, não haverá necessidade de comunicação ao operador das bombas, antes do fechamento de válvula à jusante do ponto alto, seja livre ou não o conduto nesse trecho.

Caixa de quebra de carga.

Seja forçado ou livre o conduto à jusante do "ponto alto", poderá ser empregada uma caixa de quebra de carga de capacidade mínima de 2 minutos de descarga das bombas, provida de ladrão e esgoto. O ladrão deverá ter capacidade de vasão igual à descarga das bombas.

A entrada d'água na caixa será comandada pelo nível d'água, por meio de válvula automática que feche 90% do percurso da haste quando o volume d'água atingir 2 minutos de descarga das bombas, e comece a fechar quando o nível d'água atingir 1/2 minuto de descarga das bombas.

A razão da exigência da válvula automática é de impedir maior perda de água pelo ladrão no caso de fechamento de válvula a jusante da caixa sem comunicação ao operador das bombas. A perda será pequena; pois a pressão no dispositivo de parada das bombas se elevará logo que a válvula comece a fechar, desligando a corrente e parando as bombas antes de haver 2 minutos de descarga na caixa.

O comando da válvula será feito em compartimento separado, comunicando com a caixa.

Ventosa

No "ponto alto", seja o conduto livre ou não à jusante dêsse ponto, é indicado o emprêgo de ventosa, ou ventosas; do tipo pistão, o qual tem alguma capacidade como aparelho aliviador de sobre-pressão. O número e bitola de ventosas a empregar, dificilmente poderá ser previsto. Um fabricante nacional oferece ven-

tosas de diâmetro máximo de entrada, de 1½ polegadas, ou seja 38 mm. Fábrica europeia oferece de 60 mm e de 250 mm desse tipo pistão.

Um autor recomenda bitola de 40 mm para tubos até 125 mm de diâmetro; 80 mm para tubos de 150 mm a 300 mm; e 100 mm para tubos de 325 mm a 600 mm.

É prudente prevêr no "ponto alto" ligações para mais de uma ventosa, para atender exigência indicada pela experiência com a linha em funcionamento.

V — BOMBAS

Materiais e Ensaio

A A.B.N.T. não oferece ainda especificações para bombas. Na falta delas, poderemos adotar, tanto para os materiais como para os ensaios os padrões empregados nos E. Unidos — "Standards of the Hydraulic Institute", especialmente em relação aos eixos, rodets, mancais e carcassa, caixas de gaxetas, acoplamento ao motor, aros de vedação; para emprego no recalque do líquido classificado segundo seu Ph e matéria em suspensão.

Observação — Não encontramos na biblioteca do D.A.E., exemplar das especificações do "Hydraulic Institute", dispomos apenas de referências a essa publicação. É possível que não faça referência aos materiais a empregar na construção das bombas.

Dados para a escolha da bomba

O projetista do sistema de abastecimento deverá de preferência fornecer ao fabricante de bombas os dados necessários para a instalação da estação de recalque, a partir do nível do líquido a recalcar até o nível do líquido recalcado no ponto de entrega ao abastecimento, com o perfil da linha, seu diâmetro e material, local das bombas; e demais dados exigidos para a escolha de bombas adequadas às condições de serviço do sistema.

Dados:

- 1 — Características do fluido: — Ex. água doce; sólidos em suspensão; Ph; etc. — Temperatura, Viscosidade.
- 2 — Cota do piso da estação de recalque acima do nível do mar.
- 3 — Cotas máxima e mínima do nível d'água na extremidade de admissão do tubo de sucção.
- 4 — No caso de "Booster" — Cotas piezométricas máxima e mínima em regime de serviço, na extremidade de admissão do tubo de sucção.
- 5 — Cotas piezométricas máxima e mínima no bocal de descarga da bomba, em regime de serviço.
- 6 — Cotas geométricas, e piezométricas em regime de serviço, nos pontos ao longo da linha de recalque, que passam ser de interesse, tais como "ponto alto", extremidade do sistema.

- 7 — Extensões e diâmetros nos diversos trechos do sistema.
- 8 — Capacidade de cada bomba em l/s; declarando as que funcionarão em paralelo, se fôr o caso.
- 9 — Capacidade de cada bomba — Declarar se essa capacidade é referente à cota piezométrica máxima ou à cota piezométrica mínima em regime de serviço.

- 10 — Velocidade de rotação — r.p.m. — É uma resultante das condições de serviço, tais que, capacidade e altura de recalque; segurança contra cavitação, eficiência. Para pequenas capacidades a eficiência é menor do que para grandes capacidades. Para eficiência ótima, pequena capacidade requer menor velocidade do que para grande capacidade. Para uma dada capacidade, o acréscimo de altura de recalque reduz a eficiência.

A velocidade (r.p.m.), está ainda, sujeita às velocidades dos motores elétricos encontrados no mercado.

Para serviço contínuo, é de grande importância a eficiência, mas evitando as velocidades mais elevadas que reduzem a durabilidade e aumentam os gastos de manutenção.

Examinando um catálogo de fabricante estrangeiro, nota-se que as velocidades (r.p.m.) geralmente empregadas são 3450, 1750, 1150, 860, até 435, para bombas de um só escalão, tipo radial, capacidades a alturas de recalque variáveis, sendo as de baixa rotação (1150 e inferiores), para capacidades geralmente maiores e alturas de recalque menores. As de dois e mais escalões são apresentadas com apenas duas velocidades; 3450 r.p.m. e 1750 r.p.m. Nas de um só escalão a eficiência varia de 55% a 75% para r.p.m. = 3450; e de 48% a 85% para r.p.m. = 1750. Nas de dois e mais escalões, as eficiências variam de 50% a 73% para r.p.m. = 3450; e 58% a 75% para r.p.m. = 1750.

Preços: — Os preços acusados no mesmo catálogo, se acham na seguinte proporção:

a) Conjunto motor + Bomba + Partida, para 20 l/s e altura de recalque de 90 m:

Dupla sucção — 1 escalão — r.p.m. = 3450 — Ef = 0.69 — Custo = 1.0.

2 escalões — r.p.m. = 3450 — Ef = 0.60 — Custo = 1.5.

2 escalões — r.p.m. = 1750 — Ef = 0.70 — Custo = 1.3.

b) Idem. Idem, para 40 l/s e 90 m:

Dupla sucção — 1 escalão — r.p.m. = 3450 — Não oferece para 40 l/s.

Dupla sucção — 1 escalão — r.p.m. = 1750 — Não oferece para 90 m.

Dupla sucção 2 escalões — r.p.m. = 1750 — Ef = 0.70 — Custo = 2.5.

Notamos que:

1) A bomba de um só escalão custa menos, mas exige alta velocidade.

2) A velocidade moderada de 1750 r.p.m. com dois escalões atende tanto a vazão de 20 l/s quanto à de 40 l/s com a mesma eficiência.

Conclusão — Considerando que mesmo para emprêgo temporário em determinado local, uma bomba poderá ser empregada em outra situação semelhante e que não é prudente conceder importância excessiva a menor custo inicial, *optamos pela velocidade moderada de 1750 r.p.m.* desde que as condições do serviço apresentem valor de velocidade específica que se adapte ao valor indicado nas normas de "Hydraulic Institute" para os valores conjugados de altura manométrica de recalque (H) e altura de aspiração positiva ou negativa, referida a L.C. da bomba, medida no bocal de entrada da bomba (Hasp do capítulo III).

11 — Sôbre pressões — Golpe de ariete.

Empregaremos a fórmula de Michaud, que dá resultados considerados superiores aos que ocorrem na realidade. No caso de parada repentina de bomba:

$$h = \frac{2LV}{gt}, \text{ onde } g = \text{ac. de gravidade} = 9.8 \text{ m/s}^2.$$

h, = sôbre pressão em metros de c.e. devida ao golpe, e que deverá ser somada à pressão estática no bocal da bomba.

L = comprimento em metros do tubo entre a bomba e o reservatório, ou entre a bomba e "ponto alto" provido de chaminé; ou caixa de quebra carga.

V = velocidade de regime da água no tubo de recalque em m/s.

t = tempo em segundos tomado para parar a bomba, no caso de ser êsse tempo, *superior* ao tempo que leva a onda de choque para percorrer a distância L ida e volta.

Nota — Ou o tempo dêsse percurso pela onda de choque, no caso de ser o tempo exigido para parar a bomba, igual ou *inferior* ao tempo que leva a onda de choque a percorrer a distância L, ida e volta.

a = velocidade de propagação da onda de choque em m/s.

$$a = \frac{9900}{48.5 + K \frac{e}{D}}, \text{ onde:}$$

$$K = \begin{cases} 0.5 & \text{para ferro ou aço.} \\ 1.0 & \text{para f. fundido.} \\ 2.5 & \text{para tubos petreos.} \end{cases}$$

D = diâmetro do tubo em metros.

e = espessura do tubo em metros.

Nota: — O tempo para parar uma bomba protegida por válvula de retenção por efeito da interrupção da corrente elétrica, é geralmente inferior a 30 segundos.

12 — Local da casa das bombas — Espaço Disponível. É de interesse para o projetista da instalação e para o fabricante das bombas, dispor de um desenho do espaço disponível em plano cotado, indicando a natureza do terreno.

Tipos de Bombas.

Segundo a velocidade específica para emprêgo nas diversas condições de serviço, podem ser classificados:

a) Para grandes e médias alturas — Cerca de 50 m para cada escalão.

Rodete radial, velocidade específica entre 300 e 1800 r.p.m.. Para grandes volumes — um só rodete de aspiração bi-lateral;

Apresentam a vantagem de serem hidráulicamente equilibrados.

b) Para pequenas alturas e grandes volumes — Rodete tipo "Francis" entrada axial e saída radial — velocidade específica entre 900 e 2.700 r.p.m.

c) Para drenagem — grandes volumes, pequenas alturas de aspiração elevação até 30 m. — Rodete de entrada mista (axial e radial); velocidade específica entre 2.700 e 4900 r.p.m.

d) Para grandes volumes e alturas reduzidas (até 12 m) — Rodete tipo hélice, a elevação é resultante de ação direta das laminas da hélice sôbre o líquido, tem muito pouca ação centrífuga; altura de aspiração muito pequena; tendência para cavitação e ruído se empregada fóra do campo de boa eficiência.

Nota — 1) As velocidades específicas citadas são conservadoras.

Conhecida fábrica admite limites superiores mais elevados.

2) Há outros tipos de bombas para fins especiais.

Junta da carcassa — horizontal, pelo centro da bomba, facilita a inspeção e retirada do rodete.

Rodete — São geralmente de bronze ou de outro metal ou liga adequados ao líquido a elevar. São padronizados de vários diâmetros; podendo (o diâmetro) ser adaptado à carcassa e ser reduzido de 15 a 20% sem alterar a eficiência, para a altura de elevação exigida.

Carcassa — Para pressões superiores a 7 Kg/cm², são de ferro fundido de alta resistência à tração — mínima de 2100 Kg/cm²; e de aço fundido para pressões acima de 52 Kg/cm².

A pressão de prova, em geral, consiste em submetê-la durante 30 minutos no mínimo à pressão de 1.5 vezes a pressão prevista na descarga da bomba.

Mancais — Para um e dois escalões, são empregados mancais de bolas e para maior número de escalões mancais de metal anti fricção ou de anéis.

Os mancais de esferas geralmente já vem da fabrica com lubrificante para 2 a 3 meses, sendo a lubrificante destinado principalmente à proteção contra a corrosão. Excesso de lubrificante é nocivo, ocasiona aquecimento excessivo. É suficiente adicionar lubrificante somente 2 a 3 vezes por ano. É recomendado uma vez por ano limpar com gasolina ou querosene; e encher até 1/4 a 1/3 parte, o espaço destinado ao lubrificante.

Eixo — Nos tipos comuns, de um ou mais escalões, são de aço liga, tratado termicamente, com luvas de bronze na região das caixas de gaxeta. Nas bombas maiores: de dois escalões, os eixos são recobertos de bronze e nas menores, são de aço inoxidável.

Nota — Estas especificações (eixo) são as de uma fábrica americana bem conhecida.

Acoplamento — É recomendado o de tipo flexível, que permita pequenos erros de alinhamento. O de borracha é econômico e satisfatório em numerosas instalações, mas é sujeito a alterações, especialmente na presença de óleo. Existem tipos inteiramente metálicos, largamente empregados.

Nota — Ao encomendar bombas, prever acoplamento sobresalente.

Aros de Vedação entre a sucção e a descarga — Quanto menor a folga numa determinada bomba, maior a eficiência, mas é indispensável evitar contato entre eles. Essa folga é geralmente de 0.38 mm. e é aconselhável que sejam de materiais diversos, como ferro fundido e bronze, para evitar aderência de um a outro, ou então de grau de dureza entre si diferindo de 50 Brinell. Convem que constituam elementos separados da bomba de forma que possam ser substituídos no caso de aderência ou desgaste excessivo.

Nota — Ao encomendar, prever aros sobresalentes.

Equilíbrio Hidráulico Axial — É exigido que tôdas as bombas sejam providas de mancais para receber empuxo axial; tenham elas sucção de entrada dupla, ou não, pois mesmo na de entrada dupla ocorre desequilíbrio devido a imperfeições de construção a desgaste, a obstrução do rodete ou da linha de sucção. Mancais de bolas situadas em ranhuras profundas são também empregados para tomar o empuxo axial juntamente com a pressão radial.

Para reduzir o empuxo axial, nas bombas de um escalão e entrada sin-

gela na sucção, a "câmara de vasamento" (lado da descarga) é ligada por meio de um tubo externo à sucção, servindo assim ao duplo fim de retornar o vasamento dos aros de vedação à sucção e para equilibrar a pressão hidráulica axial.

Caixa de gaxotas — "Aros de Lanterna"

A partir das secções em que o eixo atravessa a carcassa, são dispostas caixas de gaxetas para evitar as fugas de água. As gaxetas são de material plástico, apertado contra o eixo por um suporte, permitindo, contudo a passagem de certa quantidade de água para lubrificação das gaxetas; água que passa para a "câmara de vasamento" no interior da carcassa.

Para água fria emprega-se amianto grafitado e para água quente, podem ser empregados materiais metálicos.

Quando a pressão na sucção é negativa, a gaxeta contém um "aro de lanterna", indispensável para evitar a entrada de ar na bomba — Esse aro é de latão com uma ranhura, e é ligado por meio de tubo situado por fóra da carcassa, ou embutido nela, à câmara de descarga da bomba, portanto sujeito a pressão d'água, vedando assim a entrada de ar na sucção da bomba.

Nota — Ao encomendar, prever jôgo de gaxetas sobresalente.

Ensaio das bombas — Visam a verificação das curvas características de capacidade, pressão, eficiência, e potência. As tolerâncias admissíveis giram em torno de:

Para pressão (altura do c.a.) até	5%
Para potência	até 2%
Para eficiência	até 1/2%

As bombas pequenas são geralmente ensaiadas na fábrica; e as grandes, depois de instaladas e sempre de acordo com as Normas do "Hydraulic Institute".

Durante o ensaio, observar a temperatura dos mancais, vibrações.

Curvas Características e as Condições de Serviço.

Erro no cálculo da altura manométrica, embora dentro da tolerância a prever, pode tornar deficiente a capacidade de uma bomba, obrigando a redução da descarga para vencer altura real, superior à prevista.

O acréscimo da perda de carga poderá ser considerável; seja por ter sido admitido um coeficiente "C" digamos, na formula de William e Hazen de 100 em vez de 90, acréscimo esse tanto maior em valor absoluto, quanto mais extensa seja a linha de recalque; seja por tuberculização após a colocação em serviço.

SERVIÇO COM VELOCIDADE CONSTANTE:

A curva capacidade — Altura deverá ser íngreme; e a curva Eficiência — Capacidade deverá ser achatada tanto quanto possível na região ao redor da "eficiência máxima": pois procura-se ajustar o serviço de forma que: mesmo com a altura manométrica máxima a prevêr, seja assegurada a vasão exigida ambóra com eficiência levemente inferior à máxima e sem atingir a zona de instabilidade de funcionamento (zona de turbulência), e com a altura manométrica mínima a prevêr, embóra com vasão superior à exigida, a eficiência se mantenha nas proximidades da máxima.

SEVIÇO COM VELOCIDADE VARIÁVEL:

Quando se queira manter constante a altura de elevação, variando a descarga — *A curva capacidade — Número de revoluções deverá ser íngreme; e a curva Eficiência — Número de revoluções deverá ser achatada* tanto quanto possível, para que se possa obter acréscimo de vasão com um mínimo de acréscimo de velocidade (r.p.m.), e pequena redução de eficiência.

É óbvio que neste caso de r.p.m. variável, os ensaios serão a êle adaptados.

VI — MOTORES PARA BOMBAS — APARELHOS DE ARRANQUE

Geralmente são empregados motores elétricos de rotor em curto circuito, (tipo gaiola), devido a sua simplicidade e robustez. Mesmo no caso de serviço de velocidade variável, existem dispositivos para êsse fim. Entre êsses dispositivos tem sido recomendado o emprêgo de "luva hidráulica" (dois discos em forma de prato sujeitos a pressão de óleo), para variar a velocidade da bomba, mantida constante a do motor.

No mercado de importação são oferecidos motores dêsse tipo, para potência de 15 H.P. até 800 H. P., velocidades de sincronismo de 450 a 3600 r.p.m., 60 ciclos (eficiência aproximada de 90% para potência superior a 50 H.P.). À prova do gotejo, 40°C de elevação de temperatura ensaio contínuo; e à prova de borrião 50°C, ensaio contínuo.

Torque exigido pelas bombas: (vêr "Pumps, por Kristal and Annett — ed. 1940 — p. 287).

As bombas centrífugas, quando a partida é dada com a bomba descarregada, exigem 15 a 20% do seu valor a plena carga; e quando a partida é dada com a bomba carregada, 20 a 30%.

Partida com motor síncrono, com a bomba descarregada, (pull in torque), exige 40 a 60% do torque a plena carga, e 100 a 110% com a bomba carregada.

A bomba é considerada descarregada para partida, se a válvula de descarga estiver fechada.

Caraterísticas de Arranque do Motor tipo "Gaiola".

As três características importantes do motor de indução no momento da partida são: — Torque, corrente, fator de potência. Ao arrancar; a corrente é elevada, o torque e fator de potência são baixos. A corrente pode variar de 4½ a 8 vezes o seu valor a plena carga, quando ligado diretamente à linha conforme a classe do motor e a resistência do rotor. O Torque pode variar de 1 a 3 vezes o seu valor a plena carga, segundo a classe do motor e a resistência do rotor. A corrente elevada, aliada, ao baixo fator de potência pode ocasionar flutuações de voltagem na linha, perturbando o funcionamento de outros aparelhos a ela ligados, desde que a elevação da corrente seja excessiva.

Para atenuar o excesso de corrente ao arrancar, são empregados aparelhos de partida, sempre que a corrente ultrapasse o limite estabelecido pelo regulamento do fornecedor de energia.

Assim, o motor terá que atender ao arrancar, ao torque exigido pela bomba e ao mesmo tempo sujeitar o excesso de corrente ao regulamento do fornecedor de energia.

A ESPECIFICAÇÃO DA A. B. N. T. — EB-120 DE 1958 (Motores elétricos de Indução)

Examinando a especificação na parte referente a Motores de Indução Polifásicos — Motores de Gaiola — Notamos:

a) A classificação por categoria é a mesma da "NEMA" (National Electrical Manufacturers Association), designações A.B.C.D.F.. As tabelas VIII e XIII; relativas a primeira ao conjugado (torque) com "rotor bloqueado": são exatamente as mesmas da "NEMA", para "Torque Mínimo de Partida" e para "Máxima corrente de Partida, Admissível Para Motores de Gaiola, Para 220V e 60 ciclos". A tabela II — Fator de Serviço, é a mesma da "NEMA".

b) A especificação da A.B.N.T. não define: — "Conjugado básico"; "Conjugado de partida normal"; "corrente de partida normal"; "Conjugado de aceleração". Não especifica os materiais do motor exceto os de isolamento. No título "Marcações na Placa" não consta ϕ .

ANÁLISE DOS MOTORES DE GAIOLA SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO DA "NEMA"

Tendo encontrado um tópico subordinado a êsse título em "Induction Motors" por Charles S. Siskind, professor na Universidade de Purdue U.S.A., — Mc. Graw-Hill — 1958; e sendo aparentemente idênticas as propriedades desses motores segundo a NEMA e A.B.N.T., passo a resumir êsse tópico:

Classe A — Durante o período de partida, a corrente não é distribuída uniformemente nas barras do rotor; é acumulada na parte su-

perior onde a densidade do fluxo é elevada, resultando alta resistência efetiva e baixa reatância e em consequência um bom torque de partida sendo esta, extremamente rápida.

Quando alcança velocidade plena, e a corrente e a densidade do fluxo se normalizam, a corrente é distribuída uniformemente nas barras do rotor, reduzindo a resistência efetiva e contribuindo assim para boa eficiência.

Assim, com seu rotor de barras profundas, com seu excelente resfriamento e rapidez de partida, os motores da classe A se adaptam a arrancar sob voltagem da linha, e a severas condições de serviço.

Blusse B — As barras do rotor se assemelham até certo ponto à aquelas da classe A. O torque de partida é algo inferior ao da classe A, porque a excitação do campo (Estator) é inferior, e por esta razão este tipo não se presta tão bem ao arranque sob voltagem da linha, embora suas demais características o recomendem para emprego geral.

Classe G — Rotor de gaiola dupla, se distingue pelas suas excelentes qualidades de serviço.

Bom torque de arranque e aceleração rápida.

Capacidade térmica algo reduzida e por isso não se adapta a cargas de inércia elevada que impeçam aceleração rápida.

Seu emprego é aconselhável somente no caso de ser exigido torque de arranque elevado, mas de natureza estática.

Classe D — Torque de arranque extremamente elevado, escorregamento considerável à baixa rotação quando carregado; porque a indentação do rotor é pouco profunda e de pequena secção reta e consequente resistência do rotor algo elevada ao arrancar e em serviço.

A eficiência é baixa devido à alta resistência do rotor e está sujeito a aquecimento extremamente elevado quando trabalhando com carga de alta inércia.

É destinado especialmente a serviço de estamparia e a operações de tesoura exigindo pesado volante.

Classe F. — Rotor de gaiola dupla de resistência extremamente elevada, baixa capacidade térmica durante o período de aceleração, fator de serviço muito baixo, eficiência algo baixa.

Requer corrente de arranque e de serviço inferiores ao da Classe B.

Empregado onde o sistema abastecedor de energia é de baixa capacidade e as cargas de partida e de serviço são pequenas.

Torque de arranque sob voltagem plena é somente cerca de 125%.

Motores geralmente grandes — acima de 25 h.p.

* * *

APARELHOS DE ARRANQUE PARA MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS — TIPO GAIOLA

O regulamento da "Light", ed. de 1957, ao tratar de tensão secundária, sob o título "Observações gerais", na página 40, declara:

"Nas instalações de força, os motores de potência superior a 5 c.v. deverão possuir compensadores ou dispositivos apropriados de modo a limitar a corrente de partida a 225% da corrente normal a plena carga dos motores".

Na página 18 e inciso 4B e p.19: — Força em tensão secundária: — Municípios servidos pelas Companhias Associadas e Seções de S. Paulo Light S.A.: — 208, 220 ou 230 V 60 ciclos. Instalação Trifásica: — Motores e aparelhos com potência global de 1 a 100 c.v.. As instalações trifásicas ficarão subordinadas às condições da rede secundária local podendo ser exigida ligação monofásica. O fornecimento a ligações de força situadas na zona subterrânea será feito em tensão secundária, independentemente do limite superior acima citado.

Nota — No regulamento nada consta sobre exigência de aparelhos limitadores de corrente de partida, quando trata do fornecimento de tensão primária.

Métodos de Arranque de Motores Trifásicos de Gaiola.

Geralmente estes motores são fornecidos com o enrolamento ligado em estrela, porque permite funcionamento em condições mais favoráveis do que a ligação em triângulo sendo que na ligação em triângulo o fator de potência é levemente inferior, o acréscimo de aquecimento é considerável, mas o torque por amper é algo superior.

Os métodos de arranque são:

1) Ligação direta à linha — Processo empregado somente no caso de motores pequenos, embora no mercado externo sejam oferecidos arrancadores para motores até 50 h.p. a 220V ou para 100 h.p. a 440/550/600V. Como vimos, o regulamento da Light limita a potência a 5 c.v. quando ligado o motor à tensão secundária.

2) Arranque com voltagem reduzida.

a) *Arrancador estrela* — triângulo — Exige enrolamento do motor projetado para funcionamento em triângulo. A corrente de fase ao arrancar (ligação estrela) assim como o torque de arranque são ambas reduzidas a uma terça parte dos valores que teriam no caso da ligação direta à linha. Assim; se a corrente à plena carga é I (num condutor da linha) e a corrente de arranque em ligação direta é 6I; a corrente de fase com ligação estrela será $6I/3=2I$, ou seja 200% da corrente a plena carga; portanto porcentagem dentro do limite do 225% exigido pela Light para corrente secundária.

Ao arrancar, a chave tripolar do aparelho é manobrada de forma a ligar o enrolamento do estator em estrela e quando o rotor adquire velocidade suficiente, a chave é desligada dos polos da estrela e ligada aos polos do triângulo. No arrancador automático são empregados botões de partida e parada e relés de tempo e de controle.

Desvantagens: — O torque de arranque é fixo; não pode ser mudado no caso de ser exigido valor maior. Ao passar da ligação estrela para triângulo, se a passagem for efetuada muito cedo ou muito lentamente, reduz de

muito e até suprime a vantagens do método. Na passagem para a ligação triângulo há uma interrupção momentânea da corrente e tendência para variação repentina de torque resultando do sacolejo ("snatch"), que poderá ser evitado mediante o emprêgo de aparelho que disponha de uma resistência que é empregada durante a passagem.

LIMITAÇÕES DE SEU EMPRÊGO

1 — Quando o torque de arranque do motor é inferior ao torque exigido pela bomba ou a máquina operatriz movida pelo motor. Como já vimos, o torque exigido por bomba centrífuga quando descarregada, (20% de seu valor à plena carga) e 30% dêsse valor quando carregada; não excede assim à terça parte oferecida pelo motor com partida estrela — triângulo.

2 — Não encontramos na literatura consultada, limitações quanto a seu emprêgo, no que diz respeito à potência do motor; a não ser num autor que aconselha o método para motores de potência inferior a 15 c.v., mas não justifica a limitação.

3 — Um Engenheiro Eletricista do DAE (Eng. Klaus Mayer) experiente, consultado verbalmente dá preferência, desde que a potência do motor justifique) ao emprêgo do auto — transformador de arranque, por ter verificado desgaste dos contactos da chave estrela — triângulo, isto devido à ocorrência de arco na passagem para triângulo, e pela dificuldade encontrada pelos montadores para fazer corretamente as ligações.

b) Auto Transformador de Arranque:

O aparelho consiste de dois auto transformadores ligados em triângulo aberto, ou de três auto transformadores ligados em estrela ou em triângulo, os quais fornecem energia de voltagem reduzida às três fases do enrolamento do motor. A voltagem reduzida é geralmente de 50%, 65% e 80% da voltagem da linha.

Para evitar a ocorrência de arco, é recomendado o emprego dêsses transformadores em imersão de óleo.

A corrente tomada por cada fase do motor é diretamente proporcional à voltagem de fase e o torque é proporcional ao quadrado da voltagem de fase.

Admitindo que a corrente de arranque em ligação direta à linha seja 6I, onde I é a corrente à plena carga, vejamos quais são as condições de arranque, para uma redução de voltagem pelo transformador, para 50% da voltagem da linha:

$$\text{Correntes no motor} = 0.50 \times 6I = 3I$$

$$\text{Correntes na linha (desprezando as correntes de excitação do transformador)} \\ = 0.50 \times 3I = 1.5I$$

$$\text{Torque} = 1.5 T \times (0.50)^2 = 0.37 T$$

Onde T = Torque a plena carga

1.5 T = Torque de arranque quando a ligação do motor é feita diretamente à linha.

1.5 = fator admitido, representando a relação entre torque de arranque e torque à plena carga quando a ligação é direta a linha. (Ver

ABNT-EB-120-Tabela VIII).

Como, vemos, ao arrancar, a corrente na linha é 1.5I, portanto inferior ao limite fixado pela Light para energia secundaria (225%) e o torque = 0.37T é suficiente para arrancar bomba centrífuga, empregando motor da categoria A, de 4 polos (1800 r.p.m.), quando a potência exigida for inferior a 75 c. v. (ver tabela VIII da A.B.N.T. — EB-120). Para potência de 200 c.v., o fator 1.5, passa para 1.0 e o torque = 0.25 T, também suficiente para arrancar bomba centrífuga descarregada.

c) Arrancador de voltagem reduzida por meio de resistência intercalada na linha.

Consiste de resistências situadas entre a linha e o motor. As resistências são feitas de pilhas de discos de grafite especial colocadas em tubos isolados. Desconhecemos a extensão de seu emprego no país.

* * *

FATOR DE POTÊNCIA E TARIFA DA LIGHT

A conta mensal sofre um crescimento proporcional à relação entre o fator de potência $\cos \phi = 0.85$ e qualquer outro, inferior a êsse.

TIPOS DE ENVÓLUCRO DOS MOTORES

Os envólucros padronizados da NEMA:

Aberto; Aberto à Prova de Respingo; Aberto à Prova de Jato de Água; Totalmente Fechado e Resfriado por Ventilador; Totalmente Fechado e Ventilado Atravez de Tubos; A Prova de Explosão; Motor Sanitário; Outros Tipos.

PROTEÇÃO DOS MOTORES EM SERVIÇO

Os motores deverão ser protegidos contra:

- sobrecarga
- Curto Circuito
- Grande queda ou falta de tensão acidentais.

Para êsse fim são empregados "Interruptores Automáticos de Proteção", para funcionar no ar ou no óleo; com disparador para proteção contra curto circuito.

MANCAIS — LUBRIFICAÇÃO DOS MOTORES

Os motores equipados com mancais de esferas ou de rolamentos possibilitam a obtenção de fator de potência superior aos dos motores providos de mancais de manga, pois é possível no primeiro caso, menor espaço no entre-ferro

("air gap"). Contudo, fazem mais ruído e exigem total substituição quando, seja o caso, ao passo que o mancal de manga pode ser reajustado. Os mancais de esferas ou de rolamentos são lubrificados com graxa, cada seis meses, depois de removida a que neles se encontra; e as caixas dos rolamentos ou esferas, são substituídas cada três anos. Os mancais de manga são lubrificados com óleo mineral leve, adicionando o suficiente para manter o nível do óleo no mancal.

ENSAIOS DO RECEBIMENTO DOS MOTORES

A EB-120 da A.B.N.T., no artigo 4, prevê "Ensaio de Laboratório" no inciso 4.1, de acordo com o método MB-216, que *ainda está em estudos*.

No inciso 4.2, estabelece "Ensaio Industriais" de acordo com o método já citado, (*ainda em estudos*).

Assim, *ainda não existe método de ensaio do A.B.N.T.* e como a especificação da ABNT — EB-120, muito se assemelha à especificação da NEMA, poderão ser empregados os métodos de ensaio desta.

OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

O comprador de um motor tem interesse em saber se *êle tem as características indicadas na proposta da venda, especialmente a potência, fator de potência e rendimento e corrente garantidos no contrato*. Assim as propostas deverão ser acompanhadas das curvas relativas a cada um dos motores propostos, tendo por abscissa as potências desenvolvidas e por ordenada o rendimento, fator de potência e corrente absorvida.

Essas curvas deverão constar de certificado do Instituto de Eletrotécnica Anexo à Escola Politécnica de São Paulo, além dos demais ensaios previsto nas normas da A.B.N.T.; e ainda a "prova de simetria de fases" que não consta dessas normas, mas que é recomendada e justificada no "Manual de Electro-técnico de A. Corrêa Monteiro — 1949, página 427. O certificado deverá ser apresentado antes da assinatura do contrato de fornecimento (e serviços se for o caso).

EDITAL DE CONCORRÊNCIA

O edital deverá ser redigido de forma que o julgamento seja tanto quanto possível reduzido às considerações de preço e prazo, assegurando ao comprador a qualidade e a quantidade do fornecimento dos materiais e serviços contratados, assim como a responsabilidade do fornecedor pelo comportamento dos materiais, máquinas, aparelhos por êle fornecidos, ou fornecidos e instalados, para realizar os fins a que são destinados.

No caso de se tratar de instalação de recalque o projeto requer, estreita colaboração entre o projetista e os fabricantes ou forne-

cedores do equipamento e serviços. Em consequência, o projeto que acompanha o edital deverá ser modificado pelos fabricantes ou fornecedores onde for julgado necessário para que possam êles assumir integral responsabilidade pelo comportamento da instalação em serviço. Os preços, a mais ou a menos resultantes dessas modificações deverão constar das propostas: *assim como os preços originais decorrentes do projeto que acompanha o edital e os novos preços, resultantes das modificações introduzidas.*

Em resumo: As propostas apresentarão alternativa do projeto que acompanha o edital, se for o caso.

Nota — Antes de formular as especificações relativas aos materiais e ao equipamento, é prudente investigar se o mercado está capacitado a satisfazer às exigências.

Consumo de energia — As propostas deverão declarar o consumo de energia (Kw horas) por m³ de água recalçada para o regime de serviço e a tolerância para mais e para menos a prevêr na estimativa desse consumo, assim como o fator de potência para êsse regime e justificar os valores declarados.

BIBLIOGRAFIA

- Bombas Centrífugas — por L. Quantz — ed. Labor — 1933.
- Pump Engineering Data — Manual da "The Home of Economy Pumps, Inc. — Hamilton — Ohio, U.S.A. — 1945.
- Pumps — By Kristal and Annett — Mc Graw Hill — 1940.
- Bombas y Maquinas Soplates Centrífugas — A.N. Church — Ed. Reverté — Alsina 731 — B. Ayres — 1945.
- Abastecimentos de Água Potable — por Jaime Zerdoya Morera — Libreria Bastinas, Cale Palayo, 52, Barcelona — Sem data.
- Induction Motors — Charles S. Siskind — Mc Hill — 1958.
- Manual do Eletrotécnico — Alternomotores — Livraria Luso-Hespanhola Ltda. — Rio de Janeiro — 1950.
- Electric Motors and Controls — British Electrical — Development Association — 2 Savoy Hill, London WC. 2 — Sem data.
- Data Book on Electric Motors-by E. Molloy — ed. George Newnes Limited — London — 1957.
- Le Moteur Electrique — Ses Applications — par Stephan E. Hopfervieser — Ed. Brown Boveri & Cie — Baden Suisse — 1944.
- Elementos de Electricidad Industrial — por P. Roberjot — ed. Gustavo Gili — Barcelona — 1921.
- Design of Electrical Apparatus — by John H. Kuhlmann — ed. John Wiley — New York — 1957.